# Радиус электрона и масса составных частиц подобных протону и нейтрону.

Безверхний Владимир Дмитриевич.

Украина, e-mail: bezvold@ukr.net

**Резюме:** Учитывая точечную структуру элементарных частиц а также корпускулярно-волновой дуализм показано, что радиус электрона как и любой элементарной частицы, строго равен нулю. Следовательно, экспериментальная фиксация радиуса любой частицы свидетельствует о неэлементарности частицы. Также рассмотрен механизм создания массы составных частиц подобных протону и нейтрону за счет релятивистского увеличения энергии элементарных частиц составляющих соответствующую систему.

**Ключевые слова:** Радиус электрона, элементарные частицы, точечная структура частиц, волна де Бройля, комптоновская длина волны, масса составных частиц.

## ВСТУПЛЕНИЕ.

Интересно рассмотреть вопрос о радиусе электрона. Можно показать, что точный радиус любой элементарной частицы (фотона, кварка и т. д.), в том числе и электрона, равен нулю. Это точно и строго.

Важно отметить, что радиус электрона, как и любой другой элементарной частицы не стремится к нулю, а именно строго равен нулю.

Вспомним, что согласно теории относительности все элементарные частицы необходимо рассматривать как точечные объекты. То есть, объекты, которые по определению не имеют размера. В учебнике Л. Ландау и Е. Лифшица “Теория поля” [1] показано, что “...теория относительности делает абсолютно невозможным существование абсолютно твердых тел...”.

Если бы элементарная частица имела определенный размер (радиус и другие подобные классические характеристики), то очевидно, что такая частица должна быть абсолютно твердой. Но, деформация частицы означает теоретическую возможность ее разрушения и возможность самостоятельного движения отдельных частей частицы, а значит, такая частица уже не может считаться элементарной.

Следовательно, элементарность частицы однозначно указывает на точечную структуру такой частицы, что лишь подтверждает факт бесструктурности элементарной частицы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.

Для дальнейшего обсуждения и анализа приведем цитату из учебника [1]:

“...Таким образом, мы приходим к выводу, что при вращении диска отношение его длины окружности к радиусу (измеряемому неподвижным наблюдателем) должно меняться, а не оставаться равным $2\pi$. Противоречие этого результата со сделанным предположением показывает, что в действительности диск не может быть абсолютно жестким и при вращении неизбежно испытывает некоторую сложную деформацию, зависящую от упругих свойств материала, из которого диск изготовлен.

В невозможности существования абсолютно твердых тел можно убедиться и другим способом. Пусть некоторое твердое тело приводится в движение внешним воздействием в какой-то его точке. Если бы тело было абсолютно твердым, то все его точки должны были бы двигаться одновременно с той, на которую воздействовали; в противном случае тело будет деформировано. Однако теория относительности делает это невозможным, так как удар от данной точки к остальным передается с конечной скоростью, и поэтому все точки тела не могут одновременно прийти в движение.

Из сказанного следуют определенные выводы относительно рассмотрения элементарных частиц, то есть частиц, для которых мы считаем, что их механическое состояние полностью описывается заданием трех координат и трех составляющих скорости движения в целом.

Очевидно, что если бы элементарная частица имела конечные размеры, то есть была бы протяженной, то она не могла бы деформироваться, так как понятие деформации связано с возможностью самостоятельного движения отдельных частей тела. Но, как мы только что видели, теория относительности показывает невозможность существования абсолютно твердых тел.

Таким образом, в классической (неквантовой) релятивистской механике частицы, которые мы рассматриваем как элементарные, не могут быть отнесены к конечным размерам. Иными словами, в рамках классической теории элементарные частицы следует рассматривать как точечные...”.

Кроме того, согласно принципу Гейзенберга в квантовой механике частицы не имеют траектории по определению. Так как согласно копенгагенской интерпретации состояние элементарной частицы определяет её последующее состояние не однозначно, а лишь с определённой вероятностью.

То есть, положение микрочастицы внутри волн де Бройля определяется статистическим детерминизмом (квантовые эффекты проявляются именно внутри волн де Бройля).

Тогда, исходя из принципа Гейзенберга, точное определение координаты частицы будет означать полную неопределенность ее импульса.

$$\Delta x * \Delta p \geq \hbar / 2$$

$$\Delta p \geq \hbar / (2 * \Delta x)$$

$$\Delta x = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta p = \infty$$

Но, дело в том, что “волны материи”, то есть волны де Бройля, имеют свой минимальный размер – это комптоновская длина волны для конкретной элементарной частицы, так как скорость частицы не может превышать скорость света в вакууме.

$$\lambda = h / (m * v)$$

$$v \rightarrow c$$

$$\lambda c. = h / (m * c)$$

Следовательно, мы не сможем иметь точную координату частицы, мы будем иметь только вероятностное описание  внутри волн де Бройля (согласно корпускулярно-волновому дуализму). Это следствие того, что элементарная частица не имеет размера, а является строго точечным объектом. Если бы частица имела протяженность в пространстве, то это значило бы и наличие траектории.

Стоит отметить, что внутри комптоновской волны минимальная погрешность измерения координаты частицы ($\Delta x$) отвечает неопределённости импульса ($m*c$), которая соответствует минимальной энергии для образования пары частица-античастица, и тогда, сам процесс измерения теряет смысл. То есть, внутри комптоновской волны мы уже не можем элементарную частицу рассматривать даже как точечный объект – только как волну.

То, что элементарная частица имеет радиус равный нулю можно легко понять, если привести аналогию с массой покоя фотона.

Фотон может двигаться только со скоростью света, причем масса покоя фотона равна строго нулю. Если бы мы могли каким-то образом остановить фотон (когда $v=0$), то тогда его масса покоя могла бы существовать и быть измерена. Но фотон движется только со скоростью света и поэтому не имеет массы покоя.

Аналогично и с радиусом элементарной частицы: если мы могли бы каким-то образом иметь точные координаты частицы и, следовательно, траекторию (а не вероятностное описание внутри волн де Бройля), то тогда частица имела бы и определенный размер в пространстве. Но, так как элементарная частица не имеет траектории, а описывается только статистическим детерминизмом, ее радиус строго равен нулю.

Таким образом, при экспериментальном измерении радиуса электрона всегда будет фиксироваться то, что радиус электрона меньше точности прибора. Естественно, аналогично будут себя вести при измерении их радиуса все элементарные частицы.

Следовательно, если мы сумеем экспериментально измерить радиус, протяженность и тому подобные характеристики какой-либо частицы, то можно смело утверждать, что данная частица не является элементарной.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Окружающий мир и все более сложные частицы в конечном итоге состоят из элементарных частиц. Поэтому, давайте проанализируем то, как именно масса составных частиц (подобных протону и нейтрону) создается из энергии, ведь элементарные частицы находятся в постоянном движении и характеризуются определенным запасом кинетической энергии.

Согласно А. Эйнштейну [2]: “Масса тела есть мера содержания энергии в этом теле…”.

То есть, если у нас есть определенное количество энергии, то мы неизбежно получаем массу - масса тела есть одна из форм энергии (Эйнштейн).

Чтобы точно понять, как масса создается из энергии, мы рассмотрим протон и нейтрон, состоящие из трех разных кварков. И что важно: масса протонных кварков составляет всего 1 % от реальной массы протона, а масса нейтронных кварков составляет 1.3 % от реальной массы нейтрона. В этом примере мы воочию увидим как природа создает массу составных частиц, таких как протон и нейтрон.

Но, сначала вспомним атом водорода Бора, в котором электрон по орбите движется со скоростью $v = 2.188 * 10^6$ м/с. Естественно, что масса электрона в этом случае возрастает до значения $m = 9.109626 * 10^{(-31)}$ кг.

$$m = m0 / (1 - v^2/c^2)^{0.5}$$

m0 – масса покоя электрона, $m0 = 9.1093837 * 10^{(-31)}$ кг.

Особенно важно, что эта релятивистская добавка массы электрона ($\Delta m$) в точности равна энергии связи атома водорода (ионизационному потенциалу) [3].

$$\Delta m = m - m0$$

$$E = \Delta m * c^2 = 2.1799567 * 10^{(-18)} \text{ Дж} = 13.606 \text{ эВ}$$

$\Delta m$ — дефект массы электрона на боровской орбите.

Это означает, что при образовании связанной системы электрона и протона (атома водорода) энергия связи выделяется во внешнюю среду (это важно!). Более того, именно эта энергия буквально “рождается” дефектом релятивистской массы электрона на боровской орбите.

Теперь рассмотрим протон, состоящий из трех разных кварков. Предположим, что эти кварки движутся с некоторыми различными скоростями. Согласно теории относительности масса всех трех кварков увеличится.

Напомним теперь, что добавление массы электрона в атоме водорода выделяется во внешнюю среду в виде энергии связи.

Но, кварки не могут существовать вне протона (в отличие от электрона и протона, которые могут существовать отдельно — их можно удалять друг от друга до бесконечности).

Поэтому “энергия связи” от дефекта релятивистской массы для кварков будет выделяться во “внутреннюю среду”, то есть внутрь протона. Кварки не могут выделять энергию во внешнюю среду, так как они не существуют во внешней среде.

Следовательно, вся энергия генерируемая движением кварков останется внутри протона.

А так как “масса... есть мера содержания энергии... в теле” [2], то протон будет иметь определенную массу по формуле:

$$E = m(p) * c^2$$

$$m(p) = E / c^2$$

где E — энергия протона (энергия покоя),

m(p) — масса покоя протона,

c - скорость света в вакууме.

Энергия, как и импульс, является аддитивной величиной (в отличие от массы). Следовательно, энергия протона (E) будет состоять из трех энергий соответствующих кварков:

$$E = E1 + E2 + E3$$

$$E1^2 = (p1 * c)^2 + (m1 * c^2)^2$$

$$E2^2 = (p2 * c)^2 + (m2 * c^2)^2$$

$$E3^2 = (p3 * c)^2 + (m3 * c^2)^2$$

где p, m, E1, E2, E3 — импульс, масса покоя и энергия соответствующих кварков.

Все сказанное будет аналогично для нейтрона и вообще для любой системы связанных частиц типа кварков (которые не могут существовать вне связанной системы).

Таким образом, масса составных частиц подобных протону и нейтрону создается релятивистским увеличением массы/энергии соответствующих элементарных частиц, из которых состоят связанные системы.

**REFERENCES.**

1. Landau L. D., Lifshits E. M. Theoretical physics. Volume 2. Theory of the field. Moscow: Nauka, 1988. P. 67 – 69.

2. Einstein A. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? Ann. Phys. 1905. Vol. 18 [323]. P. 639—641.

3. Bezverkhniy V. D. Bohr Model of the Atom, Mass Defect and Chemical Bond. SSRN Electronic Journal, 5 Dec 2022. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4257744